

# **CENTRALES ELÉCTRICAS MICROHIDRÁULICAS:**

## **APLICACIÓN EN UNA ZONA RURAL SUBDESARROLLADA**

Jaime Castellano, Marcel Torrent

### **1.- INTRODUCCION**

La implementación de microcentrales hidroeléctricas en zonas subdesarrolladas permite acceder a la energía eléctrica a comunidades rurales, cuando las dificultades para disponer del suministro a partir de las líneas eléctricas de transporte son insalvables por motivos de aislamiento o de coste económico. Previo análisis general de estas microcentrales, presentaremos los resultados más relevantes en un estudio práctico para la posible implementación de una microcentral en Perú, concretamente en el pueblo de Chambamontera, provincia de Jaén.

El estudio realizado ha tenido la cooperación del organismo de colaboración técnica internacional llamado ITDG-Perú, que ha proporcionado información acerca de la localización geográfica para la microcentral. Aún así, debido a las dificultades para disponer de datos suficientes sobre el terreno donde se debería construir la microcentral, en el estudio no se han determinado los componentes que conciernen a la obra civil. Aún así se ha descrito, en parte, los componentes y las tecnologías más apropiadas para la microcentral, centrándose el estudio principalmente en la selección de los componentes eléctricos, como son la turbina hidráulica, el generador y el transformador. Además, se propone utilizar un método de gestión para pequeños sistemas eléctricos aislados para analizar la posible viabilidad económica.

Los resultados presentados forman parte del proyecto final de carrera realizado por Jaime Castellano en la EPSEVG y tutorizado por Marcel Torrent del Departament d'Enginyeria Elèctrica de la UPC.

### **2.- MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

Existen diversos sistemas de producción de energía eléctrica mediante centrales hidroeléctricas. Estos sistemas se pueden clasificar según su rango de potencia instalada, tabla 1.

Clase	Rango de Potencia
Pico Hidroeléctrica	Hasta 10 kW
Micro Hidroeléctrica	10 a 100 kW
Mini Hidroeléctrica	100 kW a 1MW
Pequeña Hidroeléctrica	1 MW a 10 MW
Mediana Hidroeléctrica	10 MW a 100 MW
Gran Hidroeléctrica	Superior a 100 MW

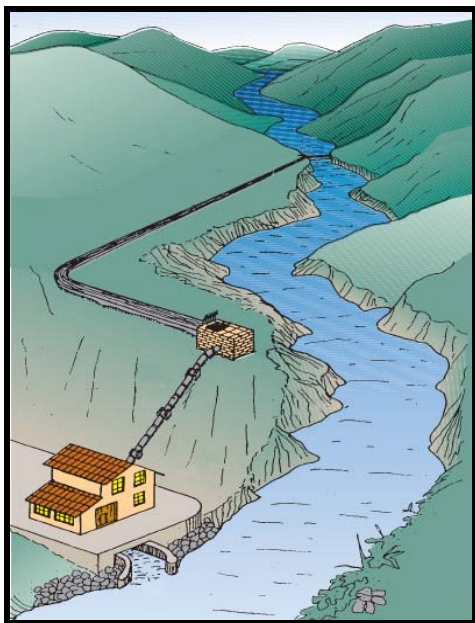
**Tabla 1:** Clases de centrales hidroeléctricas.

Además, se pueden clasificar en dos grupos, centrales hidroeléctricas con caudal fluyente (de derivación, figura 1a) y centrales hidroeléctricas con caudales en parte retenidos, en uno o en varios embalses, figura 1b.

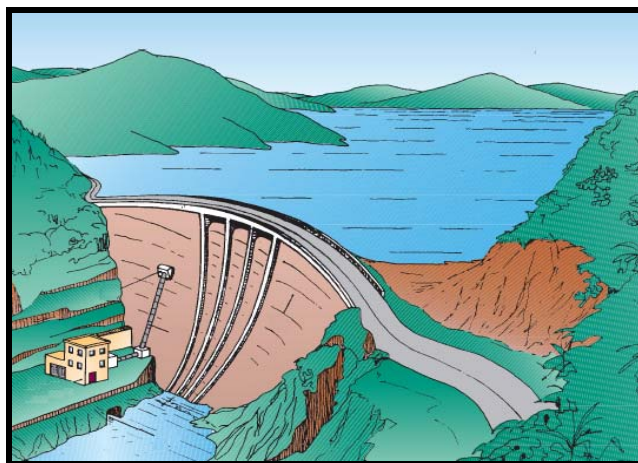
Las centrales que trabajan con caudal fluyente son aquellas instalaciones que, mediante una bocatoma, captan parte del caudal del río y lo conducen a través de canales hacia la turbina para aprovechar la energía del agua y después devolverla al cauce del río. Esta aplicación es la utilización

más frecuente en aquellas centrales de mediana y pequeña potencia. Este tipo de centrales tiene un impacto en el medio ambiente mínimo, ya que al no bloquear el cauce del río, no inunda los terrenos adyacentes.

Por otra parte, las centrales hidroeléctricas a pie de presa tienen la opción de almacenar toda la energía del agua de un río mediante un embalse. En estas centrales, se regulan los caudales de salida para utilizarlos cuando sea necesario, en un sistema eléctrico serían centrales punta, así que generarán electricidad en aquellos momentos donde los consumos son más elevados. Estas centrales presentan varios inconvenientes, como son la inundación de terrenos fértiles y en ocasiones poblaciones que es preciso evacuar. Estas aplicaciones se suelen utilizar en centrales de mediana y gran potencia donde el caudal aprovechado por las turbinas es proporcionalmente muy grande al caudal promedio anual del que el río dispondría.



**Figura 1a:** Esquema de una central de agua fluyente o de derivación.



**Figura 1b:** Esquema de una central a pie de presa o de caudal retenido.

Para una zona rural subdesarrollada, el sistema a instalar más utilizado son las centrales hidroeléctricas de agua fluyente. Estas presentan las siguientes ventajas e inconvenientes.

#### Ventajas

- Fuente limpia y renovable de energía.
- Recurso ampliamente disponible en muchas zonas rurales.
- Bajos costos de operación y larga vida útil.
- Generación de energía generalmente continua.
- Son centrales eficientes (75%-90%).
- Se pueden combinar con sistemas de regadío.
- Permiten el desarrollo productivo y económico de la comunidad rural.

#### Inconvenientes

- Están condicionadas por las condiciones topográficas e hidrológicas del lugar, dado que las transmisiones a largas distancias se ven limitadas por el coste.
- La potencia del suministro está condicionada por el recurso natural existente. Esto implica que es difícil la posibilidad de extender el suministro en caso de producirse una demanda mayor.
- Es posible que según la temporada varíe el nivel del caudal, por lo tanto, es recomendable hacer un buen estudio hidrológico para evitar posibles problemas posteriores.
- Necesidad de estudios técnicos que impliquen un coste añadido.

### **3.- NECESIDADES ELÉCTRICAS EN CHAMBAMONTERA (PERÚ)**

La realización de este estudio surge del interés por contribuir al desarrollo de regiones rurales subdesarrolladas, en las cuales su situación tanto a nivel social como económico no les permite disponer de la tecnología y del dinero suficiente para alcanzar un buen nivel de vida. Nuestro estudio particular afecta a un poblado del interior de Perú.

Como en muchos países sudamericanos, las posibilidades de desarrollo se concentran mayoritariamente en las grandes ciudades, como en la capital Lima. Ésta tendencia afecta a las zonas rurales, las cuales se ven marginadas, apreciándose un deterioro tanto a nivel económico como social y cultural de dichas comunidades.

La marginación de estas zonas también causa que más del 67% de la población rural no tenga suministro de electricidad. Este problema no solo causa un deterioro en la población afectada, sino que además impide a las familias mejorar las difíciles condiciones de vida en las que se encuentran.

Chambamontera, el pueblo objeto de este estudio, dispone de unos 800 habitantes y se encuentra situado al norte del país, en la región de Cajamarca. Los habitantes de Chambamontera principalmente se dedican a la actividad agropecuaria.

La población se abastece de alumbrado a través de lámparas a kerosén y velas. Hay algunas familias que poseen pequeñas baterías para mover pequeños equipos de radio y televisión. A la hora de cargar las baterías se tienen que desplazar hasta Jaén, una distancia de aproximadamente 20 kilómetros por un camino de tierra el cual es prácticamente intransitable para vehículos a motor. El coste que tiene el recargar estas baterías es aproximadamente de S/. 5.00 (La moneda oficial de Perú es el Nuevo Sol (S/.), donde aproximadamente 1 euro son S/. 4.5). En general se puede indicar que las familias están efectuando un gasto promedio en energía entre S/. 15.00 y S/. 20.00 al mes, con los problemas de transporte asociados a la recarga de las baterías, a su baja duración y a los problemas que generan sus residuos.

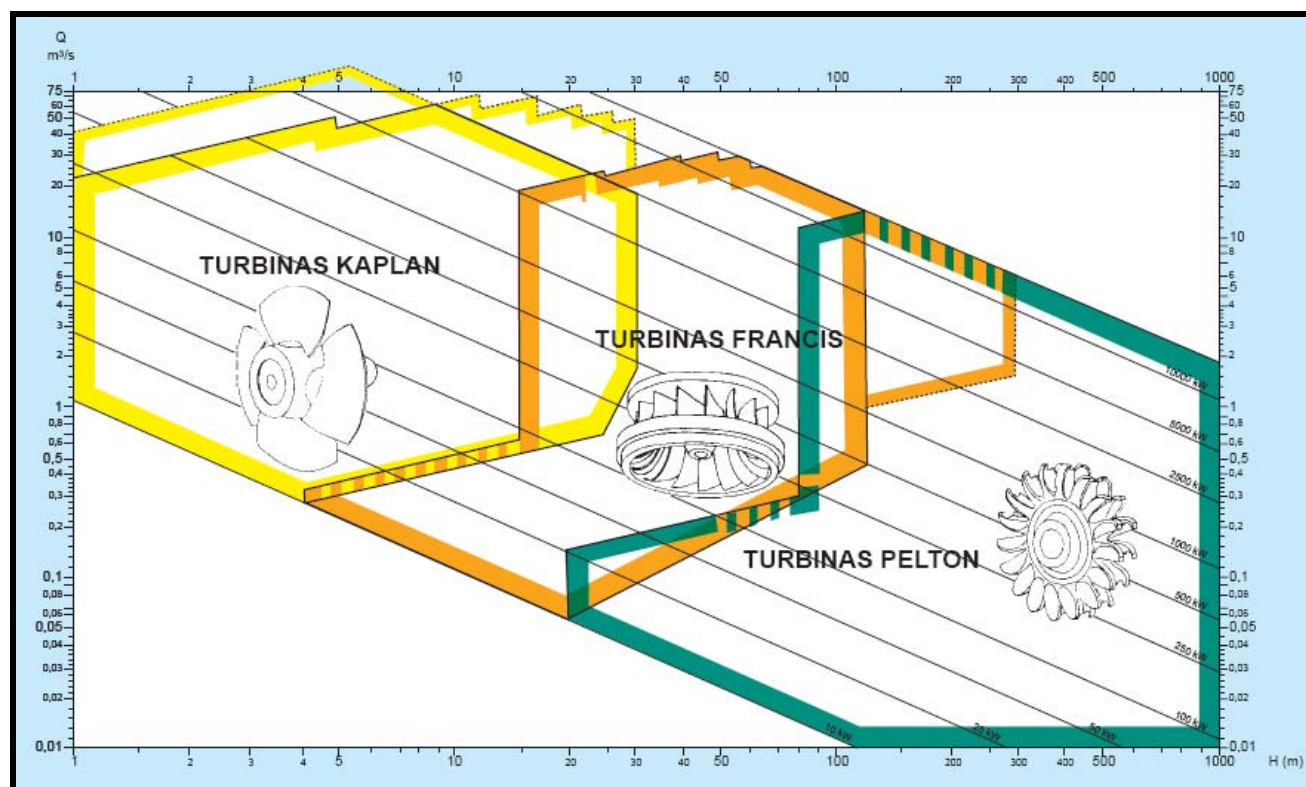
### **4.- IMPLANTACIÓN DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA (MCH)**

Hay que tener en cuenta que al realizar el estudio la información disponible es escasa, por lo que a datos hidrológicos se refiere. Si la MCH se implementara a corto plazo, sería necesaria una recogida exhaustiva de información sobre el caudal del río en diferentes épocas del año. Por esta razón, dejaremos a banda el estudio de la obra civil y nos centraremos, a partir de estimaciones elementales del caudal y de la altura bruta del salto, en la selección de los componentes tales como la turbina, el generador, el transformador y la línea de media tensión.

Gracias a los datos aportados por ITDG-Perú sabemos que el estudio hace referencia a un pequeño arroyo situado aproximadamente a 1 km de distancia del poblado de Chambamontera. Dicho arroyo

es nombrado por la gente de allí como Gentil y su aforo realizado en tiempo de ausencia de lluvias es aproximadamente de 50 l/s, de los cuales se tomará para el diseño de la MCH un caudal máximo de 40 l/s, contando con una altura útil de 75 metros y aplicando una tubería de presión corta de 6 pulgadas de diámetro. A partir de estos datos, se diseñan la turbina hidráulica a utilizar y se seleccionan los principales componentes eléctricos como el generador, el transformador y la línea aérea.

Con estos datos, a partir de la figura 2, se puede deducir el tipo de turbina a utilizar en la MCH. A continuación comentaremos los aspectos principales de los componentes a utilizar.



**Figura 2:** Diagrama de selección de turbinas hidráulicas caudal/altura.

#### 4.1.- BOCATOMA.

La bocatoma tiene como función iniciar la circulación del agua hacia la cámara de equilibrio por medio del canal de derivación. Otra de sus funciones es la de impedir la introducción de materiales sólidos y flotantes por medio de rejillas y desarenadores, como también procurar de proteger el sistema de posibles inundaciones que pueda sufrir el río mediante un aliviadero.

#### 4.2.- ALIVIADERO.

Toda central corre el riesgo de sufrir desperfectos a causa de demasías o caudales superiores de los de diseño. Por este motivo en ninguna central debe faltar un aliviadero encargado de regular el nivel del agua y de ese modo proteger el sistema de los riesgos que puede sufrir. Estos aliviaderos van acompañados por unas compuertas de control que facilitan el desagüe del mismo o la detención del agua al canal. Debería disponerse de varios mecanismos para cortar el paso del agua ya que por la falta de uso de los mismos podría no funcionar en el momento necesario.

#### 4.3.- DESARENADOR Y CÁMARA DE CARGA.

El río lleva consigo ramas, piedras, y otros materiales sólidos, los cuales son retenidos en las rejillas de admisión, pero no las partículas de arena ni los materiales de menor tamaño que la abertura de la rejilla, por ello es necesario la colocación de un desarenador donde la velocidad de llegada por el canal de conducción se ralentiza para facilitar que dichos materiales que pueden ocasionar daños en los álabes de la turbina sean asentadas en el fondo del desarenador.

El diseño de la cámara de carga es similar al del desarenador excepto por la sección de salida, que es reemplazada por la toma de la tubería de presión. En teoría, la capacidad de retención de sedimentos de la cámara de carga debe ser inferior a la desarenador, ya que es éste quien retiene la mayor parte de los sedimentos.

#### 4.4.- CANALES.

La elección del canal de conducción dependerá de varios factores como son el terreno, la pendiente y las dimensiones de éste. Existen varios tipos de canales que se pueden utilizar para la conducción del agua. Canales de tierra sin revestimiento o con revestimiento, canales de mampostería o concreto, canales con tubería de baja presión o acueductos hechos de planchas de acero galvanizado, madera o tubos cortados por la mitad.

Todos estos canales sufren de una degradación producida por el paso continuo del agua y de las posibles partículas que pueden llevar. Los canales de tierra sin revestimiento son los más económicos pero los que con mayor frecuencia sufren el problema de la degradación de sus paredes. En el caso de que sean muy porosas, se utiliza un revestimiento, por ejemplo de piedras, para evitar el peligro de que se produzcan serios daños en la pared del canal a causa de la erosión o de incrementos del caudal. El revestimiento también ayuda a que las pérdidas por filtración sean menores y que aumente la velocidad del agua.

#### 4.4.- TUBERÍA DE PRESIÓN.

Existen dos tipos de infraestructuras diferentes para canalizar el agua desde la bocatoma hacia la turbina. Una opción es el diseño de una tubería corta desde la cámara de carga hasta la turbina, siendo necesario un canal de conducción que vaya desde la bocatoma hasta la cámara de carga. La otra opción, sería la instalación de una tubería de presión larga, desde el inicio de la bocatoma hasta la turbina. Este segundo método es la opción más cara, pero necesaria en aquellos casos donde las características del terreno no permiten la construcción de canales o donde el terreno es muy plano y se debería construir canales muy largos para obtener un salto aceptable.

#### 4.5.- TURBINA.

Con los datos de caudal y altura, se selecciona una turbina tipo Pelton. Las turbinas Pelton son las turbinas de acción más utilizadas en aplicaciones donde se disponen saltos relativamente grandes (de 20 metros a 1000 metros aproximadamente) y caudales relativamente pequeños (de  $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Las dimensiones de los álabes de una turbina Pelton son proporcionales al diámetro del chorro del agua que sale de los inyectores.

#### 4.6.- GENERADOR.

En la elección del generador se ha optado por un alternador síncrono trifásico, sin escobillas (brushless), de 440 V y 4 polos.

Los generadores síncronos son muy utilizados en aquellas aplicaciones para sistemas aislados puesto que, a diferencia de los generadores asíncronos, no precisan de un sistema auxiliar

(condensadores) para la puesta en marcha. Se ha optado por el sistema brushless para reducir las necesidades de mantenimiento del generador, cuestión importante en este tipo de aplicaciones.

#### **4.7.- TRANSFORMADOR.**

El transformador debe elevar la tensión generada por el generador hasta un valor normalizado y apropiado para el transporte. Este transformador debe corresponderse con las características del generador (440 V) y con la frecuencia del sistema (60 Hz).

Se ha elegido un transformador tipo poste. Estos transformadores son muy utilizados para la distribución en zonas rurales aisladas donde la potencia de suministro no es muy elevada. Por esta razón, este tipo de transformadores están provistos de interruptores automáticos y seccionadores para la protección del sistema.

#### **4.8.- LINEA DE MEDIA TENSION.**

El sistema no genera una cantidad importante de energía para poder abastecer a la población de la potencia suficiente como para poder instalar electrodomésticos de gran consumo en las viviendas. Para evitar grandes pérdidas en la línea, se ha considerado que el transporte se realice en línea aérea trifásica de media tensión (24 kV).

Por la información facilitada por ITDG, sabemos que las familias que se benefician del servicio son aproximadamente unas 50. La potencia útil del sistema es de 17.3 kW, por lo que cada vivienda contará con una potencia máxima instalada de 346 W. Como es de suponer, las aplicaciones que se podrán llevar a cabo con la potencia instalada serán básicamente para la iluminación y la instalación de alguna radio y/o pequeña televisión y de algún pequeño electrodoméstico.

### **5.- FINANCIACIÓN**

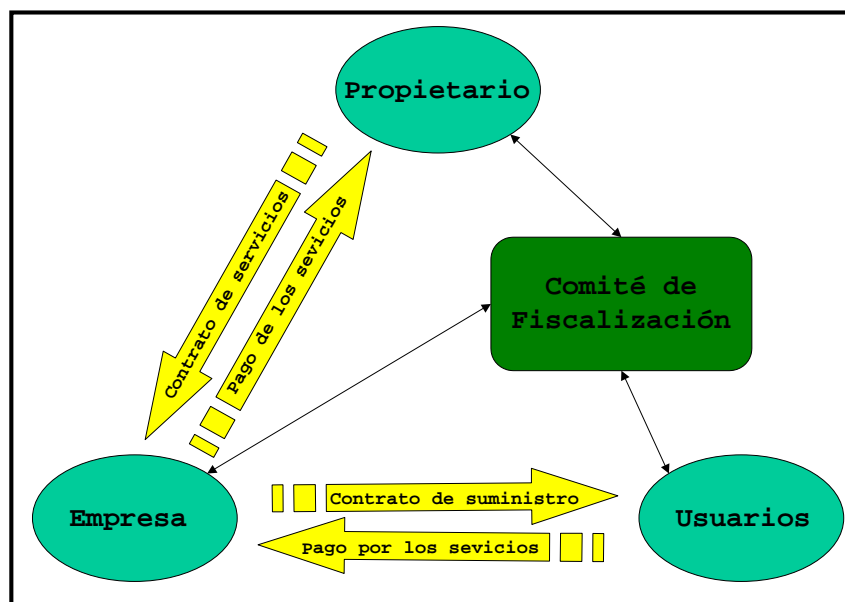
Desde el año 1985 ITDG-Perú trabaja en el desarrollo de la electrificación rural y en la promoción de la utilización de las energías renovables en diferentes zonas de Sudamérica.

Durante todo este tiempo se ha intentando promover la creación de un sistema de financiación, hasta que se logró crear, en el año 1992, el proyecto FONDO que ayudaría a la creación de un mayor número de MCHs en distintas zonas de Perú.

Este fue un proyecto promovido por el sector pequeña empresa del Banco Internacional de Desarrollo (BID) y ejecutado por ITDG, a través del cual se implementó un modelo financiero que combina un crédito blando con un fuerte cofinanciación de diferentes instituciones entre las cuales están el gobierno central, gobiernos regionales y locales, organismos bilaterales, multilaterales y la propia población afectada.

La experiencia de ITDG indica la necesidad de un modelo adecuado de gestión para promover este tipo de proyectos, puesto que la implementación del sistema podría no recuperar la inversión realizada.

El objetivo del modelo de gestión es el manejo eficiente de pequeños sistemas eléctricos aislados, consiguiendo de este modo la sostenibilidad de los mismos. En este modelo de gestión participan cuatro actores principales, que son, el propietario, la empresa operadora del servicio, los usuarios y un comité de fiscalización, con las relaciones indicadas en la figura 3. Cada uno de ellos están relacionados entre si y deben seguir unas normas y obligaciones, respetando el marco legal vigente.



**Figura 3:** Relaciones entre los grupos implicados en el modelo de gestión.

## 6.- PRESUPUESTO

En la tabla 2 se presenta un presupuesto orientativo de los principales componentes de la microcentral, considerando únicamente el sistema eléctrico y excluyendo la parte referente a la obra civil. Se debe considerar, que el grupo turbina – generador no son materiales fabricados en Perú, si no que son fabricantes europeos. Eso podrá verse reflejado en el coste total del sistema, siendo este más caro, pero también más fiable al no disponer de transmisión mediante correas ya que el eje de la turbina esta acoplado directamente al eje del generador.

TOTAL CONCEPTOS		
UNIDADES	DESCRIPCIÓN	
1	<u>CONCEPTO 1: TURBINA-GENERADOR</u> - TURBINA - GENERADOR - CUADRO ELÉCTRICO DE CONTROL - REGULADOR ELECTRONICO DE CARGA	17.650 €
2	<u>CONCEPTO 2: TRANSFORMADOR</u>	5.600 €
3000m	<u>CONCEPTO 3: LÍNEA AÉREA</u>	1.110 €
<b>TOTAL CONCEPTOS</b>		<b>24.360 €</b>

**Tabla 2:** Presupuesto orientativo de los elementos de la MCH.

## **7.- CONCLUSIONES**

En el proyecto realizado, partiendo de la información facilitada por ITDG, se indica que la instalación de una microcentral hidroeléctrica en el poblado de Chambamontera tiene posibilidades reales de ser viable técnica y económicamente con un modelo adecuado de gestión. Aún así, para su puesta en práctica, deberían completarse los estudios de campo en la zona en cuestión para evaluar adecuadamente las posibilidades de implantación de la obra civil de la microcentral y de la línea de transporte de electricidad.

Caso de que la microcentral pudiera llevarse a cabo, sería necesario un replanteamiento en la selección de los materiales, equivalentes a los seleccionados en el proyecto desde el punto de vista técnico, a poder ser con disponibilidad directa en el país de origen.

## **REFERENCIAS**

- Manual de Minicentrales y Microcentrales Hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos. ITDG-Perú. <http://itdg.org.pe/archivos/>
- Organización de servicios eléctricos en poblaciones rurales aisladas. ITDG-Perú. Autor: Teodoro Sánchez. <http://itdg.org.pe/archivos/>
- Centrales Eléctricas. Autor: Angel L. Orille. Ediciones UPC 1996. Segunda edición.